

**В. І. Богом'я**

Дунайський факультет морського та річкового транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0003-4403-3130  
e-mail: bog260341@gmail.com;

**Т. А. Белоброва**

Одеський національний політехнічний університет  
orcid.org/0000-0002-3996-0236  
e-mail: belobrovaT@gmail.com;

**С. К. Дем'яненко**

Дунайський факультет морського та річкового транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0003-4433-6713  
e-mail: demSK46@ukr.net

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

### Вступ

Для забезпечення безаварійної експлуатації радіоелектронних систем морського транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності [1, 2, 6–8].

Існуючі моделі функціонування та контролю об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів судового обладнання морського транспорту.

Морський транспорт включає складні технічні системи, що складаються зі значної кількості модулів, вузлів, агрегатів та окремих елементів, які є джерелами відмов з різними закономірностями зміни їх інтенсивності, можливостями з їх виявлення та усунення протягом експлуатації.

Ще однією особливістю, яку необхідно враховувати при дослідженні ефективності системи контролю технічного стану радіоелектронних систем морського транспорту є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність в цей момент [3; 4].

### Аналіз досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми

Функціонування сучасних радіоелектронних систем, у тому числі морського транспорту, дозволяє врахувати значну кількість факторів, які

суттєво впливають на визначення їх технічного стану. Це стало можливим завдяки працям таких відомих учених, як А. С. Касаткін, О. В. Соломенцев, В. У. Ігнаткін — в області визначення параметрів ефективності експлуатації радіоелектронних систем засобів водного транспорту; В. В. Панін, І. О. Мачалін, Є. Т. Володарський, В. М. Чинков — в області розвитку цифрових засобів вимірювальної техніки для технічної діагностики радіоелектронних систем засобів водного транспорту. Однак, слід відзначити недосконалість існуючих методів оцінки ефективності контролю технічного стану радіоелектронних систем морського транспорту, оскільки вони не враховують особливості їх експлуатації за технічним станом і у жорстких природно-кліматичних умовах [1–6].

### Постановка завдання дослідження

Слід відмітити, що помилки при визначенні місцеположення морського транспорту можуть суттєво вплинути як на швидкість переміщення (проходження строго за прокладеним курсом або проходження додаткової відстані за рахунок внесення похибки у цей курс), так і на матеріальні витрати. Отже, від достовірності контролю апаратури радіонавігації морського транспорту залежить оперативність і економічність морських перевезень.

При цьому достовірність контролю апаратури радіонавігації залежить від справності апаратури

контролю — мобільних контрольно-діагностичних комплексів [5, 7–9].

Таким чином, виникає протиріччя між необхідністю забезпечення заданого рівня достовірності та оперативності контролю технічного стану радіоелектронних систем морського транспорту та відсутністю дієвих методів і систем проведення ефективного контролю цих систем при експлуатації.

Актуальним є розв'язання важливої науково-технічної задачі — розробки моделі оцінки ефективності контролю технічного стану радіоелектронних систем морського транспорту при застосуванні мобільних контрольно-діагностичних комплексів.

Вирішення вказаного завдання дасть змогу при обмеженнях на матеріальні ресурси своєчасно та якісно проводити контроль технічного стану радіоелектронних систем морського транспорту під час експлуатації їх технічного стану.

Для підвищення ефективності контролю радіоелектронних систем морського транспорту необхідно оцінити якість (достовірність, точність) оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів. При цьому рішення завдання оцінки технічного стану для радіоелектронних систем експериментальними і статистичними методами, у силу часових обмежень, надто складне [10–14].

Тому оцінку коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити за допомогою математичного моделювання процесів вимірювального контролю радіоелектронних систем і мобільних контрольно-діагностичних комплексів (МКДК), що застосовуються при контролі цієї апаратури.

#### Мета статті

Відповідно до наукового завдання дослідження метою статті є розроблення моделі достовірності контролю радіоелектронних систем засобів водного транспорту.

#### Вплив точності оцінки коефіцієнту готовності МКДК на достовірність контролю РЕС

Розрахуємо вплив точності оцінки коефіцієнту готовності МКДК на достовірність контролю РЕС морського транспорту, тобто визначимо можливість підвищення коефіцієнту готовності МКДК [6; 9].

Для підвищення ефективності контролю апаратури РЕС морського транспорту необхідно оцінити якість (достовірність, точність) оцінки коефіцієнту готовності МКДК. При цьому рішення завдання оцінки технічного стану для апаратури радіонавігації експериментальними і

статистичними методами, у силу часових обмежень, надто складне [11].

Тому оцінку коефіцієнту готовності МКДК як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити за допомогою математичного моделювання процесів вимірювального контролю апаратури РЕС за допомогою МКДК, що застосовуються при контролі цієї апаратури [12].

Недоліками існуючих моделей вимірювального контролю складних зразків є те, що враховується лише вплив повноти і глибини контролю на достовірність контролю й не враховується якість обслуговування самих засобів контролю, які використовуються при цьому [9].

Пропонується імітаційна модель вимірювального контролю апаратури РЕС морського транспорту позбавлена цього недоліку, що забезпечить досягнення необхідного розрахункового рівня проходження морського транспорту строго за прокладеним курсом з меншими матеріально-технічними витратами [10].

Для побудови імітаційної моделі пропонується використати метод, зміст якого полягає у тому, що оцінка контролю апаратури РЕС морського транспорту описується формулою

$$P_{ij} = P_i^A \sum_{k=1}^b P_k^A P_{ijk}, \quad (1)$$

де  $b$  — кількість станів МКДК, призначених для контролю апаратури РЕС;  $P_i^A$  — апіорна ймовірність знаходження апаратури РЕС в  $i$ -му стані;  $i$  та  $j$  — стан апаратури РЕС ( $i=1$  — працездатна;  $i=2$  — непрацездатна) і визначений стан апаратури за результатами контролю ( $j=1$  — придатна до подальшої експлуатації;  $j=2$  — непридатна до подальшої експлуатації);  $k$  — стан МКДК, що застосовується для контролю апаратури РЕС;  $P_k^A$  — апіорна ймовірність знаходження МКДК у  $k$ -му стані;  $P_{ijk}$  — умовна ймовірність того, що в результаті контролю апаратури РЕС знаходиться у стані  $j$ , за умови, що вона знаходиться у стані  $i$ , а МКДК — у стані  $k$ .

Відповідно до формули (1) достовірність контролю апаратури РЕС дорівнює

$$D = P_{1,1} + P_{2,2} = 1 - (P_{1,2} + P_{2,1}),$$

а статистичний коефіцієнт готовності зразка МКДК дорівнює  $P_{1,1}$ .

Коефіцієнт готовності МКДК до застосування визначається так

$$K_r = \frac{P_1}{\sum_{k=1}^b P_k},$$

де  $P_1$  — ймовірність стану, при якому система застосовується для контролю технічного стану апаратури РЕС (основний стан моделі експлуа-

тації);  $P_i$  — ймовірність  $i$ -го стану системи із загальної кількості станів  $k$ ,  $i = \overline{1, k}$ .

Якщо стан апаратури РЕС визначається сукупністю  $n$  незалежних параметрів контролю  $v = \overline{1, n}$ , то ймовірності цих станів описуються наступними формулами

$$P_{1,1} = \sum_{k=1}^b P_k^A \left[ \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k}) \right];$$

$$P_{1,2} = \sum_{k=1}^b P_k^A \left[ \prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k}) \right];$$

$$P_{2,1} = \sum_{k=1}^b P_k^A \left[ \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k} + \beta_{v,k}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k}) \right];$$

$$P_{2,2} = \sum_{k=1}^b P_1^A \left[ 1 - \prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k} + \beta_{v,k}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,k}) \right]. \quad (2)$$

де  $P_v$  — апіорна ймовірність знаходження  $v$ -го параметра контролю апаратури РЕС в області допустимих значень;  $\alpha_{v,k}; \beta_{v,k}$  — ймовірності помилок контролю I-го і II-го роду  $v$ -го параметра за умови, що МКДК знаходиться в стані  $k$  відповідно.

Формули (2) є узагальненням формули (1) і тотожні при  $v = 1$ .

Так як для МКДК за результатами його контролю технічного стану розрізняють два стани  $k = 1$  — працездатний і допущений до контролю технічного стану апаратури РЕС,  $k = 2$  — МКДК непрацездатний і недопущений до контролю технічного стану апаратури РЕС, то згідно формул (2) для визначення математичного очікування перебування апаратури РЕС у відповідному стані будуть мати такий вигляд:

$$m_{1,1} = p^-(m^m - \alpha_1) + (1 - P^A)(P^P - \alpha_2);$$

$$m_{1,2} = p^-\alpha_1 + (1 - P^A)\alpha_2;$$

$$m_{2,1} = p^-\beta_1 + (1 - P^A)\beta_2;$$

$$m_{2,2} = p^-(1 - P^P - \beta_1) + (1 - P^A)(1 - P^P - \beta_2), \quad (3)$$

де  $P^A$  — апіорна ймовірність знаходження МКДК у стані  $k = 1$ ;  $\alpha_1, \alpha_2$  — ймовірність помилок контролю апаратури РЕС морського транспорту I-го роду для  $k = 1$  і  $k = 2$  відповідно;  $\beta_1, \beta_2$  — ймовірність помилок контролю апаратури РЕС морського транспорту II-го роду для  $k = 1$  і  $k = 2$  відповідно;  $P^P$  — апіорна ймовірність знаходження апаратури РЕС у працездатному стані.

Основною складністю при оцінці впливу якості обслуговування МКДК на готовність апаратури РЕС є отримання аналітичних залежностей

для  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ . Так як для найбільш часто розповсюджених законів розподілу параметрів контролю та похибки вимірювання параметрів — нормального та рівномірного — неможливо отримати аналітичні вирази у загальному виді для функцій розподілу, запропоновано використання імітаційного моделювання.

Запропонована імітаційна модель основана на генерації нормальних розподілів дійсного значення  $X$  параметра контролю апаратури РЕС морського транспорту та похибки МКДК  $Y$ , що застосовується при контролі. Значення параметра контролю апаратури РЕС  $Z$  є композицією розподілів  $X$  і  $Y$ , тобто

$$Z = X + Y. \quad (4)$$

Значення параметрів із формул (3)  $P^A, P^P, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  розраховуються як частоти потрапляння аргументів розподілів  $X, Y, Z$  у відповідних границях (див. таблицю).

Таблиця

**Параметри визначення математичного очікування перебування апаратури РЕС у відповідному стані**

Параметри	Працездатності апаратури РЕС	Придатності апаратури РЕС	Працездатності МКДК
$P^A$	–	–	$a' < Y < b'$
$P^P$	$a < X < b$	–	–
$\alpha_1$	$a < X < b$	$Z < a$ або $Z > b$	$a' < Y < b'$
$\alpha_2$	$a < X < b$	$Z < a$ або $Z > b$	$Y < a'$ або $Y > b'$
$\beta_1$	$X < a$ або $X > b$	$a < Z < b$	$a' < Y < b'$
$\beta_2$	$X < a$ або $X > b$	$a < Z < b$	$Y < a'$ або $Y > b'$

У таблиці введені такі позначення:

$a, b$  — нижня та верхня границя області допустимих значень параметра контролю апаратури РЕС відповідно;  $a', b'$  — нижня та верхня границі області допустимих значень похибки мобільної контрольно-діагностичної системи відповідно.

У результаті використання розробленої імітаційної моделі та розрахунку формул (3) встановлено, що похибки, у бік заниження, в оцінці працездатного стану МКДК, яка застосовується при контролі технічного стану апаратури РЕС морського транспорту на (1,5 – 2) %, що виникають у результаті математичного моделювання процесів їх обслуговування, для найбільш типових

значень:  $P^A = 0,95$ ;  $P^P = 0,95$ ;  $\alpha_1 = 0,01$ ;  $\alpha_2 = 0,01$ ;  $\beta_1 = 0,01$ ;  $\beta_2 = 0,01$  — надають похибку оцінки коефіцієнта готовності для МКДК порядку десятих процента [8; 14].

### Висновки

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок про актуальність задачі підвищення точності моделювання процесів обслуговування МКДК, що застосовується при контролі технічного стану апаратури РЕС морського транспорту.

Розроблена імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнту готовності МКДК на достовірність контролю апаратури РЕС морського транспорту дозволяє визначити взаємозв'язок між якістю обслуговування системи та достовірністю визначення реального технічного стану апаратури, що контролюється.

Запропонована імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів на достовірність контролю радіоелектронних систем морського транспорту.

Розрахунки показали, що підвищення коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів на (1,5–2) % дозволяють підвищити достовірність контролю апаратури радіоелектронних систем морського транспорту на (2 – 10) %.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Концепція** розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року. *Міністерство транспорту України*. Київ. 2001. 210 с.
2. **Алексишин В. Г.**, Козырь Л. А., Симоненко С. В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса : Феникс, 2009. 518 с.
3. **Богомья В. І.**, Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. К. : ДВВП «Компас». 2012. 336 с.
4. **Кудрицька Н. В.** Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Киев : НТУ, 2010. 338 с.

5. **Ансофф І.** Стратегическое управление. Сокр. пер.с англ.; науч. ред.и авт. предисл. Л. И. Евенко. М. : Экономика.1989. 244 с.

6. **Гаскаров Д. В.**, Голинкевич Т. А., Мозгалевский А. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М. : Сов. радио.1974. 224 с.

7. **Богомья В. І.**, Єлезаров О. П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О. М.: за заг. ред О. М. Тимошук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : ДУІТ. 2018. 305 с.

8. **Богомья В. І.**, Горбань А. В., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О. М.: за заг. ред. О. М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації судового обладнання. Київ : ДУІТ. 2018. 305 с.

9. **Шапран Ю. Є.** Пропозиції щодо удосконалення методів оцінки ефективності системи контролю технічного стану радіотехнічних засобів морського транспорту. *Новітні технології: збірник наукових праць*. 2017. Вип. 2 (4). С. 21–28.

10. **Богом'я В. І.**, Шапран Ю. Є., Кас'яненко М. В., Якобінчук О. В. Узагальнений показник ефективності контролю технічного стану радіотехнічних засобів і методика його оцінювання. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2017. № 3 (30). С. 5–8.

11. **Herasimov S.**, Shapran Yu., Stakhova M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities. *Системи обробки інформації*. 2018. Вип. 1 (152). С. 148–154.

12. **Мусорин А. А.**, Шапран Ю. Э., Трофименко І. В. Анализ методов прогнозирования для определения технических параметров судового оборудования. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2017. № 2. С. 115-119.

13. **Мусорин О. О.**, Шапран Ю. Є., Трофименко І. В. Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах. *Наукові записки українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2017. № 1 (45). С. 117–121.

14. **Герасимов С. В.**, Шапран Ю. Є., Кірвас В. В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. № 4(52). С. 5–10.

**Богом'я В. І., Белоброва Т. А., Дем'яненко С. К.**  
**ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ**  
**РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

*У статті стверджується висновок про актуальність задачі підвищення точності моделювання процесів обслуговування мобільних контрольно-діагностичних комплексів, що застосовуються при контролі технічного стану апаратури радіоелектронних систем засобів водного транспорту.*

*Недоліками існуючих моделей вимірювального контролю складних зразків є те, що враховується лише вплив повноти і глибини контролю на достовірність контролю й не враховується якість обслуговування самих засобів контролю, які використовуються при цьому.*

*Тому оцінку коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити шляхом математичного моделювання процесів вимірювального контролю радіоелектронних систем за допомогою мобільних контрольно-діагностичних комплексів, що застосовуються при контролі цієї апаратури.*

*Розроблена імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів на достовірність контролю апаратури радіоелектронних систем засобів водного транспорту дозволяє визначити взаємозв'язок між якістю обслуговування системи та достовірністю визначення реального технічного стану апаратури, що контролюється.*

*Запропонована імітаційна модель достовірності контролю радіоелектронних систем морського транспорту. Розрахунки показали, що підвищення коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів на (1,5 – 2) % дозволяють підвищити достовірність контролю апаратури радіоелектронних систем морського транспорту до 10 %.*

**Ключові слова:** модель; коефіцієнт готовності; контроль; радіоелектронні системи; засоби водного транспорту; достовірність контролю; технічний стан.

**Bogomya V., Byelobrova T., Demyanenko S.**  
**IMITATION MODEL OF RELIABLE CONTROL**  
**RADIO ELECTRONIC SYSTEMS OF MARINE TRANSPORT**

*The article confirms the conclusion about the urgency of the problem of increasing the accuracy of simulation of the processes of servicing mobile testing and diagnostic complexes, which is used in controlling the technical condition of the equipment of radio electronic systems of means of marine transport.*

*The disadvantages of existing measurement control models are that only the influence of the completeness and depth of control on the reliability of the control is taken into account and the quality of maintenance of the most control means that are used in this case is not taken into account.*

*Therefore, an estimation of the readiness coefficient of mobile test and diagnostic complexes for both existing and prospective samples is proposed to be implemented by mathematical modeling of the processes of measuring control of radio-electronic systems with the help of mobile control and diagnostic complexes, which are used at the control of this equipment.*

*The developed simulation model of the influence of the accuracy of the estimation of the availability of mobile control and diagnostic complexes on the reliability of the control of the equipment of radio electronic systems of means of marine transport, which allows to determine the interconnection between the quality of service of the system and the reliability of the determination of the actual technical state of the equipment, is monitored.*

*The article presents an imitation model of the reliability of control of radio electronic systems of means of marine transport. Calculations have shown that increasing the coefficient of homogeneity of mobile control-diagnostic complexes by (1,5–2) % allows to increase the reliability of control of equipment of radio electronic systems of sea transport up to 10 %.*

**Keywords:** model; readiness factor; control; radio-electronic systems; means of marine transport; reliability of control; technical condition.

**Богомья В. И., Белоброва Т. А., Демьяненко С. К.**  
**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ КОНТРОЛЯ**  
**РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье утверждается вывод об актуальности задачи повышения точности моделирования процессов обслуживания мобильных контрольно-диагностических комплексов, которые применяются при контроле технического состояния аппаратуры радиоэлектронных систем средств водного транспорта.*

*Недостатками существующих моделей измерительного контроля является то, что учитывается только влияние полноты и глубины контроля на достоверность контроля и не учитывается качество обслуживания самих средств контроля, которые используются при этом.*

*Поэтому оценку коэффициента готовности мобильных контрольно-диагностических комплексов как для существующих, так и для перспективных образцов, предлагается осуществить путем математического мо-*

делирования процессов измерительного контроля радиоэлектронных систем с помощью мобильных контрольно-диагностических комплексов, применяемых при контроле этой аппаратуры.

*Разработанная имитационная модель влияния точности оценки коэффициента готовности мобильных контрольно-диагностических комплексов на достоверность контроля аппаратуры радиоэлектронных систем средств водного транспорта, которая позволяет определить взаимосвязь между качеством обслуживания системы и достоверностью определения реального технического состояния аппаратуры, контролируется.*

*В статье предложена имитационная модель достоверности контроля радиоэлектронных систем средств водного транспорта. Расчеты показали, что повышение коэффициента готовности мобильных контрольно-диагностических комплексов на (1,5–2) % позволяют повысить достоверность контроля аппаратуры радиоэлектронных систем морского транспорта до 10 %.*

**Ключевые слова:** модель; коэффициент готовности; контроль; радиоэлектронные системы; средства водного транспорта; достоверность контроля; техническое состояние.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2019 р.

Прийнято до друку 01.03.2019 р.